



TITLE:

# エレベーターかご横振動のアクティブ制振技術に関する研究( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

宇都宮, 健児

---

CITATION:

宇都宮, 健児. エレベーターかご横振動のアクティブ制振技術に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19306>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	宇 都 宮 健 児
論文題目	エレベーターかご横振動のアクティブ制振技術に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、エレベーターの振動低減を目的としたアクティブ制振技術についてまとめたものであり、エレベーターかごの力学的特性と走行時の外乱特性を明らかにしながら制振性能と電力消費量の抑制を両立するアクティブ制振装置を設計する方法を提案し、この方法を高速エレベーターと超高速エレベーターの各々について応用した結果について述べており、全6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、高層ビルの開発を背景にしたエレベーターの高速化にともなわない、ガイドレールの据え付けや走行系の剛性・減衰の調整にて振動を抑制することが難しくなっている点を指摘し、この問題を解決するためにアクティブ制振を用いることとならびに制振装置開発にあたっての課題について説明している。</p> <p>第2章では、エレベーター走行時のかご横振動を定量的に評価・分析するために24自由度3次元かご振動モデルの構築を行い、エレベーターが停止状態から走行状態に移移する過程でかご振動特性が変化することを明らかにし、この動特性変化をモデルに組込むことで振動波形が精度良く推定できることを実測波形との比較により検証している。構築した振動モデルを用いることで、エレベーターの振動要因と外乱の分析に基づいたアクティブ制振装置の設計を精度よくかつ効率よく実施することができる。</p> <p>第3章では、一般的な高速エレベーターに応用するアクティブ制振装置の消費電力低減を目指した制振システムの設計方法について述べている。横振動の原因となるレール曲がり进行分类して走行スピードによって変化する変位外乱を定義し、かご枠とかごの2慣性モデルをベースに制振性能と制御力最小化を両立する制振システム構成を決定している。この構成のもとで電力効率の高いアクチュエータ方式とその仕様を決定し、電磁気学的にアクチュエータ構造の最適化を行っている。また、低周波の加速度センサドリフトノイズに起因する無駄な電力消費が生じることを示し、周波数領域と時間領域でのノイズ処理を組み合わせることで制御の安定性を保持したまま電力消費を低減する方法を示している。さらに、スカイフック理論をベースとした制御アルゴリズムと提案したノイズ処理アルゴリズムの組合せにより低消費電力で振動低減が可能であることを実機試験で検証している。</p> <p>第4章では、制御アルゴリズム最適化の観点からロバスト制御系設計手法の一つである<math>\mu</math>設計を高速エレベーター用アクティブ制振装置へ応用し、設計された制御系の制振メカニズムを検証しながら、第3章で示したスカイフック理論を用いた場合と比較してさらに高い制振性能が得られることを示している。また、エレベーターの乗客数に応じたかご重量変動の影響を考慮した設計を行った結果、制振対象であるかご状態の不可観測性と設計アルゴリズムの保守性に起因する制御性能の低下が問題になることも示している。</p> <p>第5章では、高速走行時にはほとんど励起されなかった振動モードが超高速走行時には問題となることを示し、この問題を解決する制御系の設計法について述べている。具体的には、かご加速度センサを追加することで、超高速走行時に問題となる振動周</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	宇 都 宮 健 児
<p>波数近辺でのかご状態を含む振動モードの不可観測性の問題を解決し、かご加速度センサ信号を含めた制御対象に<math>\mu</math>設計を適用することで振動抑制性能を回復できることを示している。また、乗客数に応じたかご重量変動ならびに防振ゴム剛性の経年的な変化を考慮した場合においても、振動低減性能を損なわないロバストな制御装置が設計できることを示している。さらに実用性の高い制御系設計を行うために、かご枠加速度に対する制御系を従来のスカイフック理論で事前に構築しておき、このスカイフック制御系を含む系を新たな制御対象とみなしてかご加速度を参照する制御系を<math>\mu</math>設計法で構築する方法を提案し、設計の大幅な簡易化と制御系の低次元化が可能になることを示している。最後に、設計した制御装置を走行試験エレベーターに搭載し、提案したアクティブ制振装置の設計法が超高速走行条件で問題となる振動に対し有効であることを検証している。</p> <p>第6章は、本論文で得られた結論を述べている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、エレベーターの振動低減を目的としたアクティブ制振技術に関して、エレベーターかごの力学的特性と走行時の外乱特性を明らかにしながら振動低減性能と電力消費量の抑制を両立するアクティブ制振装置を設計する方法を提案し、この方法を高速エレベーターならびに超高速エレベーターの各々について応用した結果についてまとめており、得られた主な成果は次のとおりである。

1. エレベーターの振動分析に基づいたアクティブ振動制御系の設計を行うために 24 自由度 3 次元かご振動モデルの構築を行い、本モデルによってエレベーターかごの振動が精度良く推定できることを示した。

2. エレベーターかごの振動特性とかごに加えられる外乱の特性を考慮し、制振性能と制御力最小化を両立する最適な制御力の分配方法、その分配のもとで制御効率の良いアクチュエータ方式を決定する方法を示した。また、低周波の加速度センサドリフトノイズに起因して無駄な電力消費が生じることを示し、周波数領域と時間領域でのノイズ処理を組み合わせることで、制御の安定性を保持したまま無駄な電力消費を抑制する方法を示した。

3. ロバスト制御系設計法の一つである  $\mu$  設計をアクティブ制振装置の最適設計に応用し、設計された制御系の制振メカニズムを検証しながら、従来のスカイフック型の振動制御より高い制振性能が得られることを示した。また、乗客数によるかご重量変動の影響を考慮した設計を行った結果、設計アルゴリズムの保守性に起因する制振性能の低下が問題になることも示した。

4. 高速走行時ではほとんど励起されることがなかった振動モードが超高速走行時には問題となることを示し、この対策のための制御系の設計法を提案した。具体的には、かご加速度センサを追加することで、超高速走行時に問題となる振動周波数近辺での振動モードの不可観測性の問題を解決し、かご加速度センサ信号を含めた制御対象に  $\mu$  設計を適用することで振動抑制性能を回復できることを示している。

5. 乗客数に応じたかご重量変動ならびに防振ゴム剛性の経年的な変化を考慮した場合にも、振動抑制性能を損なわないロバストな制御装置が設計できることを示した。かご枠加速度に対する制御系を従来のスカイフック理論で事前に構築しておき、これを制御対象とみなしてかご加速度を参照する制御系を  $\mu$  設計法で構築することで、設計の簡易化と制御系の低次元化が可能になることを示した。

以上、本論文は高速化するエレベーターの振動問題の力学的な定義、アクティブ制振のためのアクチュエータ方式とその配置の決定、 $\mu$  設計を応用したロバストな制振制御系設計方法に関する新しい知見を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平 27 年 7 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。